(54) FRTP リベットによる FRP 材二面せん断接合部の耐力評価

松井 健良1・松本 幸大2・松下 義幸3

 ¹正会員 豊橋技術科学大学大学院 建築・都市システム学専攻 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)
 E-mail: t151858@edu.tut.ac.jp

²正会員 豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 准教授 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1) E-mail:y-matsum@ace.tut.ac.jp

³イオインダストリー株式会社 技術グループ(〒431-0302静岡県湖西市新居町新居 3380-500) E-mail: matsushitay@io-industry.co.jp

近年,構造用部材としてのFRP材の研究・実用が進められている.FRP材の接合法にはリベットやボルトによる機械接合があるが,一般的には金属製接合具が用いられており接合部を含めた完全な腐食フリーには至っていない.一方,FRP材料の分野においては、樹脂に熱可塑性樹脂を用いたFRTPが注目されており,二次加工の容易さや大量生産による安価な供給が期待されている.本研究では,FRTPの接合用部材への応用を目的として,FRTP製のリベットを用いたFRP材の接合法の提案と,その基礎物性評価および接合評価を行った.その結果,FRTPリベット単体の強度は他の機械接合と比較して劣るものの,本数に応じた耐力を安定して発揮することが可能なことと,母材と接合具の隙間を無くし均一な荷重伝達がされていることが分かった.

Key Words: FRTP rivet, FRP, connection, double-strap tensile shear test

1. はじめに

FRP 材は軽量性や耐候性に優れている点から,構造用 部材としての利用が期待されており,FRP 歩道橋や FRP 検査路などの適用事例が見られる¹³⁾.FRP 材の構造用部 材としての適用にあたっては,部材同士の接合方法の検 討が必要不可欠となる.接合に関して機械接合や接着接 合,両者を組み合わせた接合法などが研究されている. 機械接合においては,ボルトやリベットを用いた接合の 他,下穴を必要としないドリルビスを用いた接合の 他,下穴を必要としないドリルビスを用いた接合法⁴な どが提案されている.しかしながら,一般的には金属製 の機械接合具が用いられており,接合部を含めた完全な 腐食フリーには至っていない現状にある.耐腐食性に優 れたステンレス製の接合具の使用も行われているが,塩 分の飛散が多い地域では腐食による被害が見られる.

一方, FRP 材料の分野においては, 樹脂に熱可塑性樹 脂を用いた FRP(以下, FRTP)が注目されている²³⁾. 熱可塑性樹脂は一度硬化した後, 熱を与えることによっ て軟化し, 冷却することによって再度硬化する性質を持 った樹脂であり, 代表的なものにはポリプロピレンやポ リアミドなどがある. FRTP は加熱再成形が可能なこと から現場での曲げや接合といった二次加工の容易さが期 待されている.また,製造において射出成型やプレス成 型といった手法により,従来の熱硬化性樹脂による成形 と比較して高速での製造が可能となり,大量生産による 低コスト化が期待されている.

このような背景を踏まえ、本研究では、FRTP の接合 用部材への応用を目的として、FRTP 製のリベットを用 いた FRP材の接合法の開発とその接合評価を行う.既往 の研究⁹では FRTP リベットの概要と接合法の構想につ いて提案しており、一次結合にドリルビスを用いること で接合対象となる FRP材同士の仮止めとリベットを接合 するための穴あけの同時に行うことが可能となり、母材 穴とリベットの隙間を限りなく小さくし接合部の初期剛 性の確保が期待できることを示した.本論では、始めに 実際に行った FRTP リベットを用いた接合法の手順を紹 介し、次に基礎物性評価として FRTP リベットの引張・ せん断・曲げに対する強度の評価を行った後、接合評価 として FRTP リベットを用いて接合した FRP 板に対し、 接合部の耐力評価および応力の伝達について評価を行う.

2. FRTP リベットの概要と接合法

(1) FRTP リベットの概要

FRTP リベットの寸法および外観を図-1 に示す. FRTP リベットはガラス繊維含有率 50wt%の PA6 (ナイロン 6) を材料として,射出成型によって成形した.材料の機械 的性質を表 1 に示す.軸部外径は 5.25mm,頭部外径は 15.75mm となっている.



図-1 FRTP リベットの寸法と外観 [単位:mm]

	絶乾時	調湿時		
引張強度[MPa]	205	128		
引張弾性率[GPa]	16.2	9.5		
曲げ強度[MPa]	320	203		
融点[℃]	220			
比重	1.57			

表-1 FRTP 材料の諸特性

(2) 接合法

FRTP リベットを用いた FRP 材の接合法の概略につい て説明する.はじめに接合対象となる FRP 材同士を下穴 を必要としないドリルビスを用いて接合し,仮止めを行 う.なお,ドリルビスはリベットを挿入する予定の位置 に打ち込むとする.次にドリルビスを引き抜き,空いた 穴に FRTP リベットを差し込む.突出したリベットの軸 部に熱を与えることで軟化させ,リベットが引き抜けな いよう成形した後,冷却させてリベットを再硬化させる. この作業を1本ごとに行っていき,すべてのドリルビス を FRTP リベットに差し替えたら接合作業は終わりであ る.なお,ドリルビスと FRTP リベット軸部の外径は同 程度のものとし,リベットと FRP 材の間に隙間が生じな いようにする.

この接合法の利点として,ドリルビスによる仮止めに より事前の部材への下穴処理の省略や,リベットと部材 間のクリアランスがなくなり接合部の初期滑りの防止が 期待できる.また接合部も含めて腐食に強いオール FRP 製の構造物の建設が可能となる.

次に、本研究において行った具体的な接合手法につい て説明する(図-2). ドリルビス(MB テクス#5)はネジ部外 径が 5.5mm のものを使用し(図-3), FRTP リベットを接合 するすべての箇所に打ち込むのではなく, FRP 部材同士 が動かない程度にドリルビスで仮止めを行った後、残り の箇所には直径 5.4mmのドリルを用いて穴を空けた.次 にドリルによってあけた穴に FRTP リベットを差し込み, 再成形に必要な FRTP の分量となるようリベット軸部を ペンチを用いて切り落とすことで長さを調整した.加熱 方法としては、温度設定可能なはんだごての先端に成型 用の器具を取り付けたものを使用した. 成形具としては 図-3 に示すようなステンレス製の計量スプーンの皿部 分を銀ろう接で取り付けたものと、図-4 に示すような アルミを加工して製作したものの2種類を本試験で用い た. なお、はんだごての温度は 350℃に設定した. また、 はんだごてを使用する前に、工業用ドライヤーを使用し てリベット突出部全体に熱を加えておくことで成形時間 の短縮を図った. ドリルによってあけた穴にて FRTP リ ベットの再成形が終わった後は、ドリルビスを引き抜き、 同様の方法でFRTP リベットに差し替えた.



(l)ビスによる仮止めと ドリルによる穴あけ

(2)工業用ドライヤーによる加熱



(3) 加熱器具による加熱・再成形
 (4) 接合後の様子
 図-2 FRTP リベットの接合手順



図-3 ドリルビス

図-4 加熱用器具

3. 基礎物性評価

(1) 引張試験 試験方法

引張試験では、FRTP リベットの軸部をエポキシ系接 着剤を用いて鋼管に定着させ、図-5 に示すように金属 製治具にリベット頭部を引っ掛ける形で取り付け、治具 および鋼管を試験機でつかんで引っ張ることで、リベッ トに引張力を与えた. 試験は準静的試験とし, FRTP リ ベット 10 本に対してリベットの破断もしくは定着部の はく離が生じるまで行った.





(2) 引張試験 試験結果

引張試験の結果,5試験体においてリベット頭部と軸 部の境目において材料破壊を確認し、残りの5試験体に おいては定着部における剥離が生じた. 材料破壊を起こ した5試験体から得られた最大耐力,強度を表-2に示す. 強度は荷重を外径 5.25mm としたリベット軸部の断面積 で除した値である.得られた平均引張強度は表-1 に示 した材料規格値の強度(調湿時)の67%程度の値である ものの、変動係数は 5%を下回っており安定して強度を 発揮することがわかる.

他の接合法との比較として、 ステンレス製ブラインド

リベットと GFRP ボルトの耐力と比較を行う. ステンレ スリベット(\$4.8)の引張耐力は 6.5kN であり 9, FRTP リ ベットはその29%程度の耐力となり、また、強度で比較 をすると 24%程度の強度となった. GFRP ボルト(M6)の 引張耐力は 2.8kN であり 7, FRTP リベットはその 68%程 度の耐力となり、強度で比較をすると83%程度の強度で ある.

主り	212回転金舗を	Ħ
衣~~	クリカマアハの火がロン	木

試験体	最大耐力	引張強度	最大耐力の	最大耐力の
名	[KN]	[MPa]	平珍/值[kN]	发期铩笯[%]
R-01T	1.90	87.97		
R-02T	1.93	88.93		
R-03T	1.88	86.62	1.90	4.57
R-04T	1.78	82.24		
R-09T	2.02	93.35		

(3) 二面せん断試験

二面せん断試験では、図-6 に示すように板厚 6mm の 金属板4枚をダブルストラップ形式で重ね合わせ、片側 をボルトで固定し、反対側は金属板に空けた直径 6mm の径に FRTP リベットを配した治具を用意した. 挟まれ た金属板を試験機に固定し引っ張ることでリベットにせ ん断力を与えた. 試験は準静的試験とし, FRTP リベッ ト10本に対してリベットの破断が生じるまで行った.



図-6 二面せん断試験の様子

(4) 二面せん断試験 試験結果

二面せん断試験の結果、すべとの試験体においてせん 断破壊を確認した. 試験によって得られた最大耐力, 強 度を表-3 に示す. 強度は荷重を外径 5.25mm としたリベ ット軸部の断面積の2倍で除した値である.変動係数は 5%を下回っており安定して強度を発揮することがわか ろ

引張試験と同様に他の接合法と比較すると、ステンレ スリベットのせん断耐力は5.3kN/面であり, FRTPリベッ トはその21%程度の耐力となり、強度で比較すると18% 程度の強度となった. GFRP ボルトのせん断耐力は 4.2kN/面であり, FRTP リベットはその 27%程度の耐力と なり, 強度で比較すると 33%程度の強度となった.

試験体	最大耐力	せん断強度	最大耐力の	最大耐力の
名	[kN]	[MPa]	平均值[kN]	変動係数[%]
R-01S	2.22	51.21		
R-02S	2.30	53.11		
R-03S	2.27	52.41		
R-04S	2.23	51.43		
R-05S	2.24	51.69	2.24	1670/
R-06S	2.18	50.35	2.24	4.0270
R-07S	2.49	57.48		
R-08S	2.21	51.03		
R-09S	2.12	48.98		
R-10S	2.14	49.36		

表-3 二面せん断試験結果

(5) 曲げ試験 試験方法

曲げ試験では、図-7 に示すよに、二面せん断試験に おいて用いた治具に、金属板を追加で挟み込むことによ って、FRTP リベットを配した側において金属板同士に 間隔をつくるようにした.金属板の間隔は 9mm とし、 試験機を用いて治具を上下に引っ張ることで、3 点曲げ 形式でリベットに曲げモーメントがかかるようにした. 試験は準静的試験とし、FRTP リベット 10本に対してリ ベットの破断が生じるまで行った.



図-7 曲げ試験の様子

(6) 曲げ試験 試験結果

曲げ試験の結果,すべての試験体において曲げ破壊を 確認した.試験によって得られた最大耐力・強度を表-4 に示す.曲げ強度は最大荷重の半分の値に鋼板間距離の 長さを乗じて得た最大モーメントをリベット軸部の断面 係数で割ることで算出した.試験結果より得られた曲げ 強度は,表-1 で示した調湿時の材料強度より高い値と なった.また,変動係数は 5%を下回っており,安定し て耐力を得ることができた.

表-4 曲げ試験結果

試験体	最大耐力	曲げ強度	最大耐力の	最大耐力の
名	[kN]	[MPa]	平均值[kN]	変動係数[%]
R-01B	0.71	226.17		
R-02B	0.73	230.35		
R-03B	0.72	228.96		
R-04B	0.76	242.26		
R-05B	0.65	207.16	0.71	4.24
R-06B	0.70	223.00	0.71	4.24
R-07B	0.68	216.54		
R-08B	0.69	218.57		
R-09B	0.69	219.33		
R-10B	0.72	228.45		

(7) 基礎物性評価まとめ

FRTP リベットの基礎物性評価として、引張・二面せん断・曲げに対する強度の測定を行った.その結果、 FRTP リベットは他の機械接合と比較して強度の面で劣る結果となった.しかしながら、変動係数は小さく、安定して耐力を発揮することがわかった.

4. ダブルストラップ継手試験

(1) 試験方法

ダブルストラップ継手試験では、図-8 に示すように、 GFRP板3枚をFRTPリベットによってダブルストラップ 形式で接合したものを試験体とする. 試験体は FRTPリ ベットを引張方向1列にそれぞれ1本・4本・8本・12本 配したものを各5体ずつ作成した. なお、試験体名につ いては接合に用いたリベットの本数を用いて、D1、D4、 D8、D12と表す. FRTPリベットの配置は、FRTPリベッ トの頭部外径を考慮し、縁端距離およびリベット間距離 をそれぞれ 20mmとした. FRTPリベットの接合方法と しては、リベット1本・4本・8本の試験体については図 -4(a)に示す接合器具を用いて接合を行い、リベット 12 本の試験体については図-4(a)および図-4(b)に示す接合 器具を併用して接合を行った.

試験は準静的引張試験とし,FRTP リベットの破断ま たは GFRP 板の破壊が生じるまで行い,耐力,接合部の 相対変位の計測を行った.また,リベット4本・8本・ 12本の試験体においては各3試験体で歪の計測を合わせ て行った.歪は図-6 に示すように,リベット接合部の 側部および接合部から離れた GFRP 板上に歪ゲージを貼 ることで計測を行った.なお,試験体裏面においても同 様の位置で計測を行っている.また,歪の計測位置を接 合部からの距離に応じて A から E までと呼ぶこととす る.接合部の相対変位はクリップ型変位計を用いて計測 した.



図-8 継手試験の試験体図と試験の様子 [単位:mm]

(2) 試験結果

すべての試験体において FRTP リベットの破断により 最大耐力が決定した.最大耐力に到達後はすべてのリベ ットが同時に破断し,急激な耐力の低下が見られた.お およそのリベットは GFRP 板の両境目でせん断により破 断していたが,一部のリベットは片面のみのせん断破壊 やリベット頭部における引張破壊を起こしており,破断 による衝撃が原因であると考えられる.

各リベット本数の試験体で得られた最大耐力および平 均値,標準偏差,変動係数を表-5に示す.リベット1本 の試験体から得られた平均耐力は二面せん断試験におい て金属製治具を用いて計測した二面せん断耐力より 21%程度高い値となった.また,すべての試験体におい て計測値のばらつきを示す変動係数が 5%を下回ってお り,安定して耐力を発揮していることがわかる.各リベ ット本数の試験体から得られた最大耐力をリベットの本 数で除すことで1本当たりの耐力に換算した結果を図-8 に示す.リベットを4本以上に増やすにつれて耐力の減 少傾向がみられるものの、急激な耐力の減少は起きてな く、いずれもFRTPリベットの二面せん断耐力を上回っ ており、本数に応じた耐力の確保が可能であると考えら れる.

表-5 継手試験結果

試驗休夕	最大耐力	平均值	変動係数
叶杨大 14~11	[kN]	[kN]	[%]
D1-01	2.77		
D1-02	2.78		
D1-03	2.70	2.72	3.16
D1-04	2.76		
D1-05	2.57		
D4-01	12.31		
D4-02	11.91		
D4-03	12.32	12.23	1.46
D4-04	12.27		
D4-05	12.34		
D8-01	22.67		
D8-02	22.82		
D8-03	22.69	22.67	0.68
D8-04	22.77		
D8-05	22.42		
D12-01	30.06		
D12-02	30.42		
D12-03	31.44	30.87	1.93
D12-04	31.17		
D12-05	31.26		





各試験体における荷重-相対変位関係をオフセットし て図-10 に示す.相対変位は試験体の両面で計測した値 の平均をとしている.なお、リベット1本試験体におい ては試験機に固定する際に圧縮がかかり、その影響が計 測値に大きく見られたため荷重の値をオフセットした結 果となっている.オフセットをしたリベット1本試験体 を除き、載荷と同時に荷重が増加しており、初期滑りが 生じていないことが確認できる. また, 図-11 には, 試 験後の試験体の様子および接合部の断面を示している. リベットと GFRP 板のクリアランスが限りなく小さいこ 12 に示す. 歪は計測位置にて測定した値の平均値とな っている. すべての計測位置にて線形的な荷重伝達がみ られる. また, GFRP 板のヤング率に外径 5.25mm とし て母材穴考慮した有効断面を乗じて算出した歪に対する 荷重の傾きの理論値とおおよそ同じ挙動を示しているこ とが確認できた. 各値の荷重が作用した際にそれぞれの

計測位置で計測された歪の分布を図-13 に示す.計測位 置 A から B および D へと接合端部からの距離が離れる につれて歪が線形的に増加しており,各リベットに対し て均一に荷重の伝達がされていると考えられる.



図-11 破断直後の試験体と破断面











5. まとめ

本研究では、FRTP リベットの基礎物性評価として引 張・せん断・曲げに対する強度の計測と、FRTP リベッ トを用いて実際にFRP材を接合し接合部の耐力評価を行 った.その結果、以下の知見を得た.

- (1) FRTP リベットの引張・せん断強度は他の機械接 合と比較して低い結果となった.しかし,変動 係数が小さく安定して強度を発揮することが分 かった.
- (2) 接合に用いる FRTP リベットの本数を 12 本まで 増やしても、本数に応じた耐力を発揮すること を確認した.
- (3) 提案した接合法により, リベットと母材のクリ アランスを限りなく小さくすることが可能なこ とを確認した.
- (4) 接合部内で線形的に歪が増加しており,各リベ ットに均一に荷重が作用していることを確認した.

参考文献

- 斎藤義弘, 鵜澤潔, 保倉篤:土木・建築分野への複 合材料の適用, 第7回 FRP 複合構造・橋梁に関する シンポジウム, 2018
- 久保圭吾:土木構造物への FRP 材料の適用事例,第
 7回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム,2018
- 松本幸大,橋本国太郎:土木・建築における FRP 材 応用の状況,第7回 FRP 複合構造・橋梁に関するシ ンポジウム,2018
- 4) 井上侑也,松本幸大,三枝玄希,室本章浩,中本克則:GFRP板材のドリルビス接合強度に関する実験的研究,第11回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集(CD-ROM),2015.11
- 5) 松本幸大,松井健良,三枝玄希,松下義幸:FRTP リベットによる接合法の提案と基礎物性評価,第7 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム,2018
- 6) 中村一史,前田研一,睦好宏史,松井孝洋,柳沼謙 ー:リベット接合と接着接合によるハイブリッド FRP 桁の連結方法に関する実験的検討,第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム,2012
- 7) 篠原電機株式会社: FRP ボルト・ナット M6, https://www.shinohara-elec.co.jp/, 2018.12.07

(Received August 30, 2019)

STRENGTH OF DOUBLE-LAPPED JOINT USING FRTP RIVETS FOR FRP PLATES

Takayoshi MATSUI, Yukihiro MATSUMOTO and Yoshiyuki MATSUSHITA

In recent years, research and application of FRP materials as structural members have been promoted. And, metallic rivets and bolts are generally used for almost connection of FRP structures. So, the connections are not completely prevented from corrosion. By the way, fiber reinforced thermoplastics (FRTPs) are developed in composite material and engineering fields because it can be remolded easily by heating, and has good economic performance.

In this study, for the application of FRTP to connection, we propose the connection method using FRTP rivets for FRP materials. Then, fundamental material tests and double-strap tensile shear tests are carried out. As a result, although the strength of FRTP rivet is lower than that of existing metallic rivet and bolt, FRTP rivets can provide stable strength even if the number of rivets is increased. And, it is confirmed that the tensile load is transferred linearly.